

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia Elettrica

***Relazione per la prova finale:
Evoluzione e adeguatezza del sistema elettrico: analisi del
blackout iberico 2025 come caso studio***

Tutor universitario:
Prof. Giuseppe Zollino

Laureando:
Pietro Trovato

Padova, 12/3/2026

OBIETTIVO:

- Analizzare il blackout iberico del 28 aprile 2025;
- Identificarne le cause;
- Paragonare questo evento ad analoghi del passato;
- Riflettere sull'evoluzione del sistema elettrico Europeo e del mix di generazione.

DATI DISPONIBILI:

- Report ENTSO-E (Network Europeo TSO) (ex UCTE);
- Report Red Eléctrica de Espana (REE);
- Report UCTE (Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity);
- Report TERNA.

DATA INCIDENTE: 28 aprile 2025

FINESTRA TEMPORALE: 12:00:00 – 12:32:37 CET

TEMPO RIPRISTINO: circa 19 ore

ESTENSIONE GEOGRAFICA:

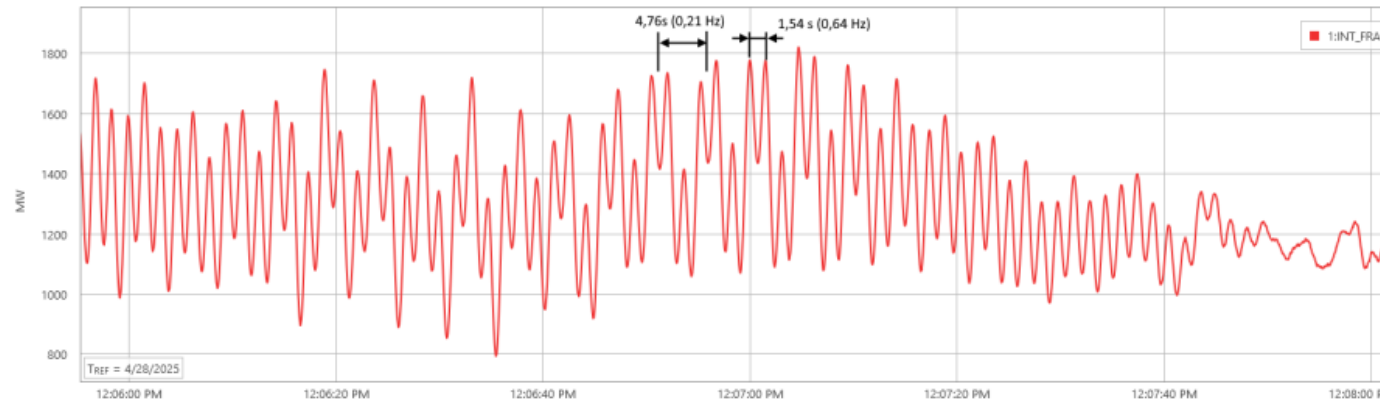


- 00:00-6:00:**
- Mix eterogeneo;
 - Sistema in condizioni stabili.
- 6:00-9:00:**
- Cambio interconnessione con la Francia (programmata);
 - Produzione fotovoltaica;
 - Aumento domanda.
- 9:00-12:00:**
- Preponderanza PV;
 - Variazioni tensione/frequenza nei limiti operativi;
 - Nessuna condizione anomala.



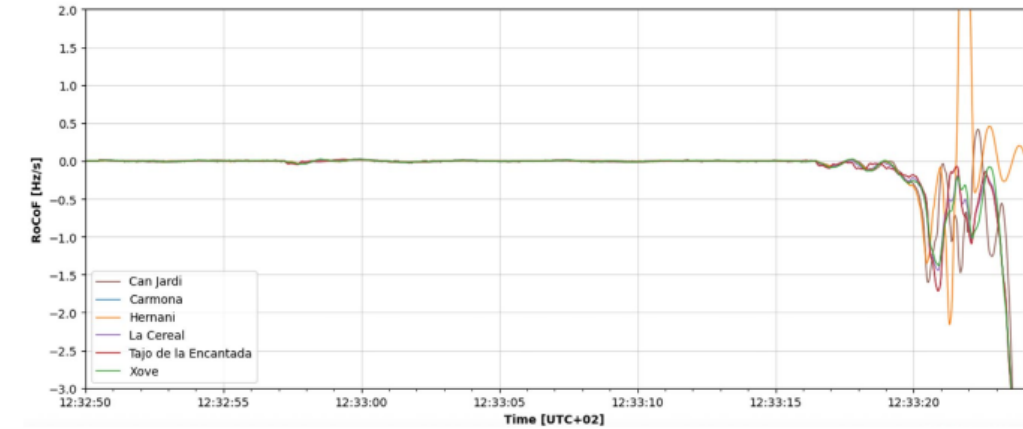
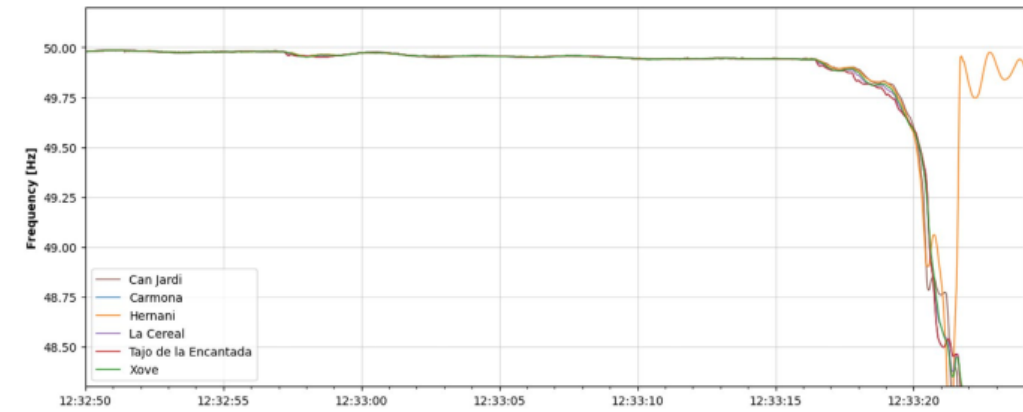
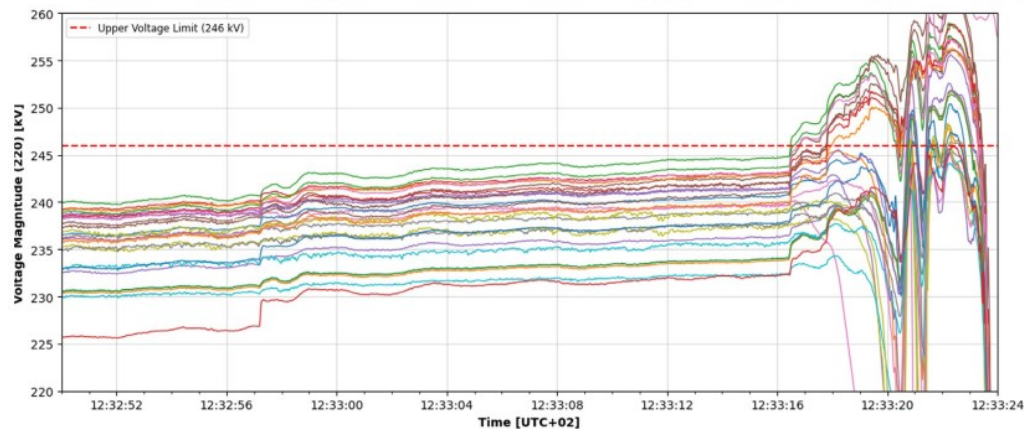
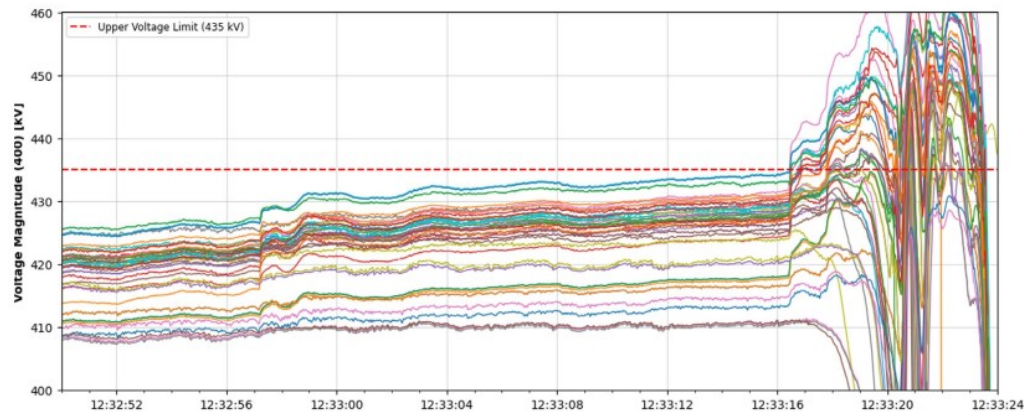
FATTORI STRAORDINARI: disconnessioni per manutenzioni preventivate (blu)

- **EVENTO 1 (12:03):**
 - Due variazioni di frequenza di 0.2 Hz, 0.6Hz (forzata);
 - Oscillazioni di tensione ordine 30-35 kV;
 - Inizio procedure ripristino (generatori shunt, accoppiamento linee).



- **EVENTO 2 (12:19):**
 - Nuova oscillazione inter area 0.2 Hz;
 - Riduzione dell'esportazione verso Portogallo e Francia;
 - Prime anomalie domanda interna Spagnola e generazione;
 - Perdita assorbimento potenza reattiva rete.

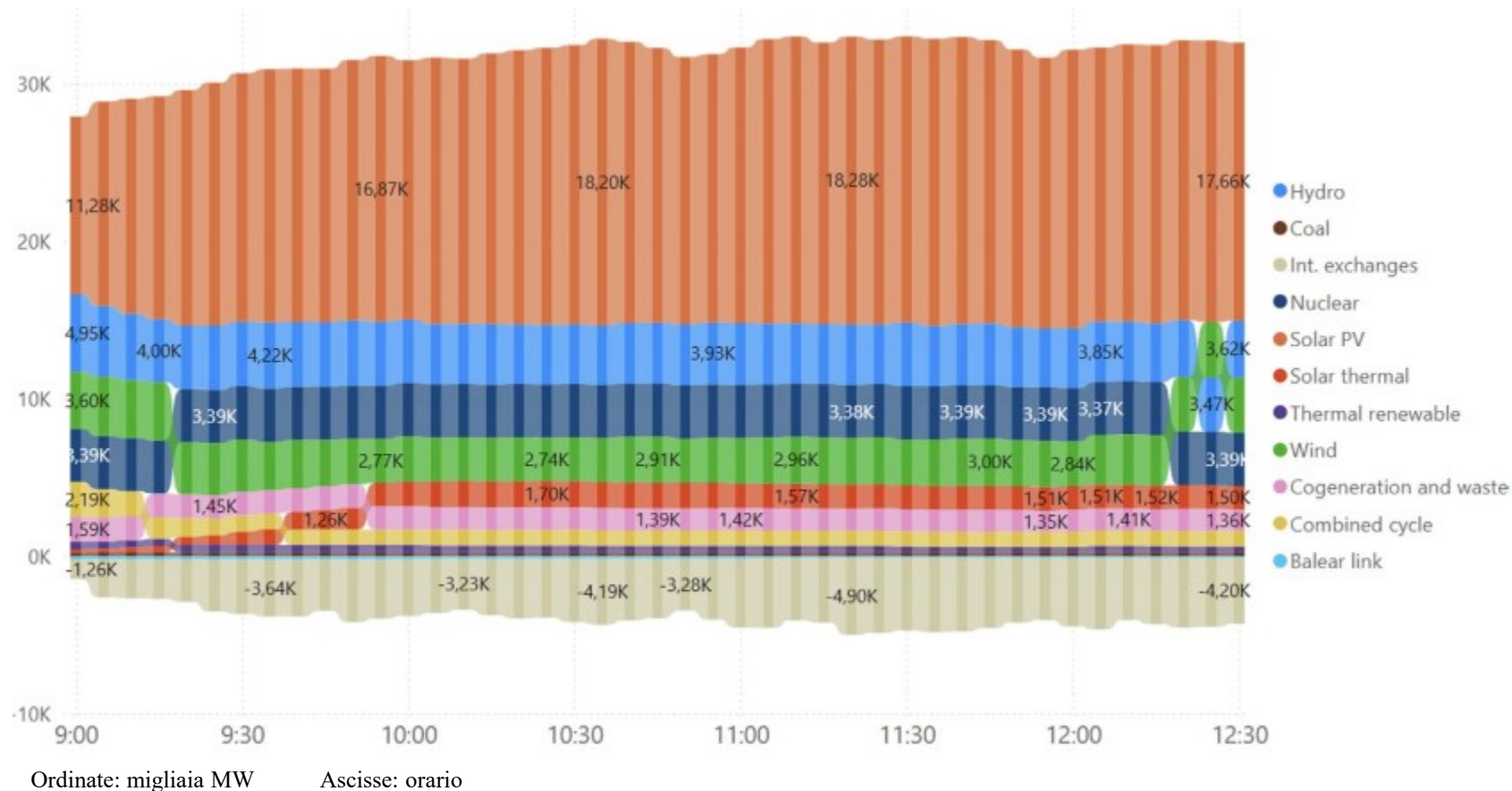
- Perdita totale generazione: 4000 MW (e corrispondente potenza reattiva);
- Intervento protezioni RoCoF;
- 12:33:27 disconnessione tutte le centrali, tensione inferiore a 1 kV sul sistema.



- *PRE-INCIDENTE*
 - Disconnessione impianto PV provincia Badajoz;
 - Non sufficienti reattori Shunt disponibili nel sistema;
 - Pianificazione manutenzione linee e programmazione oraria errata.

- *DURANTE L'INCIDENTE*
 - Controllo dinamico della tensione da parte di centrali con Generatori Convenzionali, non conforme alle Procedure Operazionali;
 - Attivazione troppo repentina delle protezioni di sovratensione.

- Rinnovabili escluse come causa primaria;
- Ruolo indiretto, rete caratterizzata da bassa inerzia;
- Centrali responsabili controllo dinamico non operavano secondo normativa.



TRE EVENTI ETICHETTATI COME SEVERI:

- *SYSTEM SPLIT 24 LUGLIO 2021*

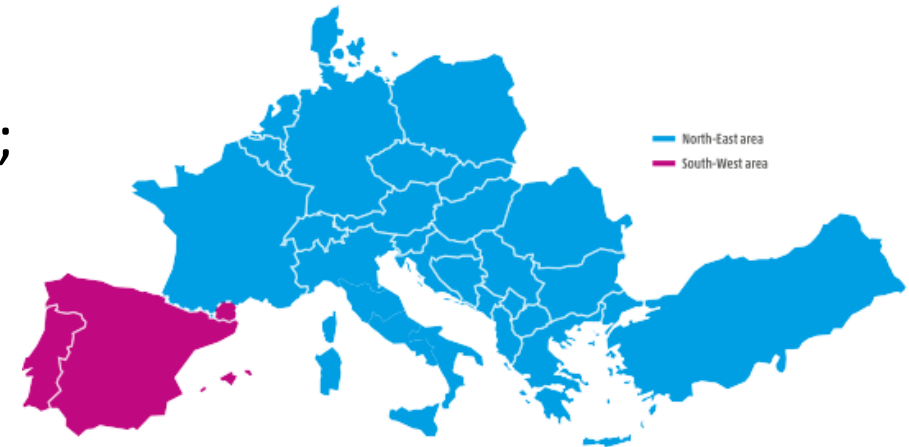
- Causa: incendio al confine tra Spagna e Francia;
- Nessun deficit istantaneo potenza;
- Richiesti ulteriori guasti per blackout.

- *BLACKOUT EUROPEO 4 NOVEMBRE 2006*

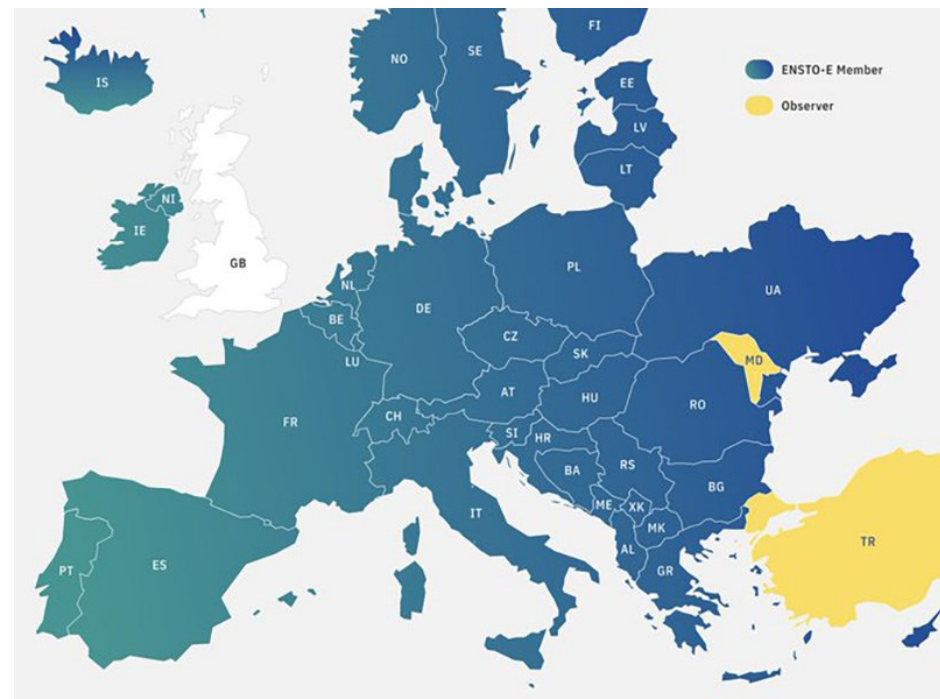
- Causa: spegnimento programmato di due linee 380 kV Germania Nord. Non comunicato ai TSO Europei;
- Blackout totale evitato perché sufficiente generazione in zone separate stabili.

- *NORTHEAST BLACKOUT 14 AGOSTO 2003 (USA, CANADA)*

- Causa: guasto software sistemi controllo, sommati all'alta domanda;
- Sovraccarico di poche linee e inadeguata manutenzione di esse;
- Strutturalmente il più simile al caso studio.



- ENTSO-E: Blackout iberico evento eccezionale;
- Combinazione circostanze, non un problema strutturale;
- Grandi sistemi interconnessi vulnerabili alle instabilità e loro importanza rispetto alle normative comuni da parte dei TSO.



- Inverter grid-forming: 50% quota totale entro il 2030;
- Importanza interconnessioni internazionali Europee: 15% entro il 2030;
- Mix energetico generatori convenzionali e risorse inverted-based;
- Tecnologie BESS per un ripristino efficace.

